

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

Databáze typických provozních úloh  
z vibrodiagnostiky

The Database of Typical Service Tasks from  
Vibrodiagnostics.

Student:

Jiří Farny

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. František Helebrant, CSc.

Ostrava 2013

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra výrobních strojů a konstruování

## Zadání bakalářské práce

Student: **Jiří Farny**  
Studijní program: B2341 Strojírenství  
Studijní obor: 2301R023 Technická diagnostika, opravy a udržování  
Téma: **Databáze typických provozních úloh z vibrodiagnostiky**  
**The Database of Typical Service Tasks from Vibrodiagnostics**

Zásady pro vypracování:

V návaznosti na téma bakalářské práce zpracujte databázi typických řešených úloh ve vibrodiagnostice. Při zpracování vycházejte z praktických měření. V rámci zadání proveďte:

1. Rešerši a analýzu dané problematiky.
2. Zpracování obecných základů vibrační diagnostiky.
3. Praktická měření a jejich vyhodnocení.
4. Zpracování databáze podle vyhledávacího klíče.

Další potřebná technická specifikace zadání bude provedena v průběhu zpracování.

Seznam doporučené odborné literatury:

HELEBRANT, F. – ZIEGLER, J.: *Technická diagnostika a spolehlivost – II. Vibrodiagnostika*. VŠB – TU Ostrava 2004, I. Vydání, 178 s., ISBN 80-248-0650-9  
KREIDL, M., ŠMÍD, R.: *Technická diagnostika*. BEN – technická literatura, Praha 2006, 1. vydání, 408s., ISBN 80-7300-157-6  
KREIDL, M. a kol.: *Diagnostické systémy*. ČVUT v Praze, Praha 2001, 352 s., ISBN 80-01-02349-4  
TŮMA, J.: *Zpracování signálů získaných z mechanických systémů užitím FFT*. Sdělovací technika Praha 1997, 174 s. ISBN 80-901936-1-7

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. František Helebrant, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012

Datum odevzdání: 20.05.2013

doc. Dr. Ing. Ladislav Kovář  
vedoucí katedry



doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

## ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

FARNY, J. Databáze typických provozních úloh z vibrodiagnostiky. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2013, 40 s. Helebrant, F.

Práce se zabývá technickou diagnostikou, konkrétně měření technického stavu. V teoretické části práce popisují vibrační diagnostiku, její nástroje, normy a vyhodnocování.

Teoretická část dále zahrnuje popis jednotlivých částí měřicího pochůzkového systému SKF Microlog/Prism a jeho ovládání následné vypracování online databázového systému s možností třídění editace archivace prohlížení a v závislosti na právech uživatele.

FARNY, J. The Database of Typical Service Tasks from Vibrodiagnostics.. VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2013, 40 p. Thesis head: Helebrant, F.

The work deals with the technical diagnostics, specifically measuring technical condition. The theoretical part describes the vibration diagnostics, instruments, standards and evaluation.

The theoretical part includes a description of each part of the measuring system pochůzkového SKF Microlog / Prism and its subsequent elaboration Operationn online database system with sorting editing and archiving of view depending on the user rights.

## **PODĚKOVÁNÍ**

Na tomto místě bych chtěl zejména poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Františku Helebrantovi, CSc. a Ing. Radimu Falcovi a za jejich rady a čas, který mi věnovali při řešení dané problematiky.

### PROHLÁŠENÍ STUDENTA

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě : 20.5.2013

..... Jiří Farny .....

Podpis studenta



Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové (bakalářské) práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové (bakalářské) práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě : 20.5.2013.....

.....*Jiří Farny*.....

Jiří Farny

Jméno a příjmení autora práce: Jiří Farny

Adresa trvalého pobytu autora práce: Příbor, 9. května 1120

## Obsah

Seznam použitých zkratk a symbolů .....	9
Úvod.....	10
1 Základní pojmy vibrodiagnostiky a údržby .....	11
1.1 Kmitání a vibrace .....	11
1.1.1 Typy vibrodiagnostiky.....	12
1.1.2 Měření vibrací .....	12
1.1.3 Metody vibrační diagnostiky .....	14
1.1.4 Základní závady v provozní vibrodiagnostice.....	16
1.1.5 Vibrodiagnostika valivých ložisek .....	19
1.2 Základní typy údržby .....	22
1.3 Normy pro hodnocení vibrací .....	24
1.3.1 Kritéria hodnocení vibrací .....	25
2 Diagnostický systém Microlog/Prism .....	27
2.1 Analyzátor Microlog .....	27
2.2 Popis a funkce software Prism4 .....	28
3 Praktická část .....	31
3.1 Popis měřeného papírenského stroje.....	31
3.2 Měření .....	32
3.2.1 Postup měření .....	32
3.3 Protokol měření.....	32
4 Databáze provozních příkladů z vibrodiagnostiky.....	33
4.1 Server .....	33
4.2 Prostředí Drupal .....	34
4.2.1 Vybrané nainstalované moduly .....	34
4.2.2 Zvolené téma vzhledu.....	34
4.3 Vlastní databáze .....	35
4.3.1 Příklady zobrazeného základního obsahu .....	35

---

4.3.2	Přihlášení a práva uživatele .....	36
4.3.3	Administrace obsahu (pro uživatele).....	37
4.4	Přenos databáze.....	37
5	Závěr .....	38
	Bibliografie.....	39
	Seznam příloh.....	40



## Seznam použitých zkratk a symbolů

Značka	Název	Jednotka
$y$	Výchylka	$[\mu\text{m}]$
$v$	Rychlost	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-1}]$
$a$	Zrychlení	$[\text{m} \cdot \text{s}^{-2}]$
$y_{\text{max}}$	Maximální výchylka	$[\mu\text{m}]$
$t$	Čas	$[\text{s}]$
$\omega$	Úhlová rychlost	$[\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}]$

## Úvod

Technická diagnostika je obor zabývající se objektivním posouzením stavu objektu a jeho údržby v průběhu provozního nasazení. V zájmu snížení prostojů z důvodu oprav a nákladů na energii zvýšení a udržení efektivity, provozní spolehlivosti a bezpečnosti se údržba stává neoddělitelnou součástí výrobní společnosti.

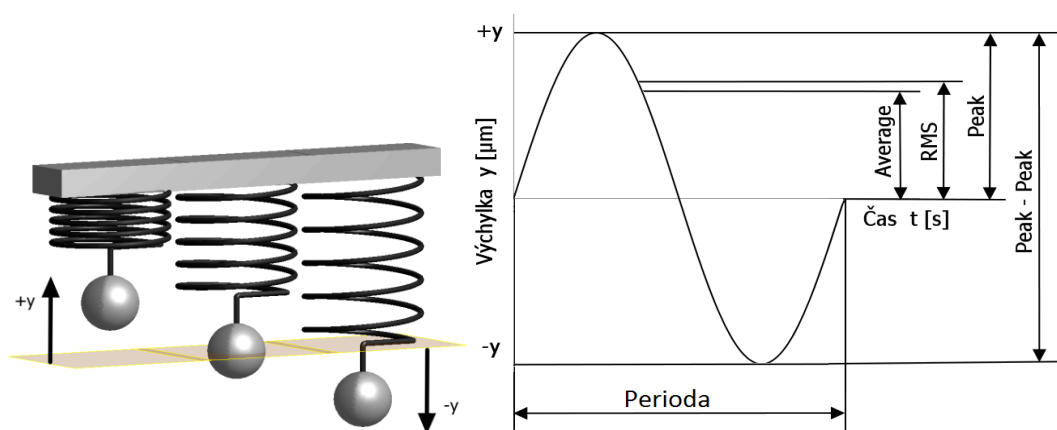
Moje bakalářská práce se týká vibrodiagnostiky a to jak vlastním měřením, tak zhodnocení stavu stroje. Zde používám diagnostický systém SKF Microlog/Prism v provozním měření papírenského stroje. Dále také návrhem databázového prostředí pro ukládání, snadné prohlížení a editaci již vytvořených protokolů z provozních měření.

# 1 Základní pojmy vibrodiagnostiky a údržby

Účel sledování vibrací je zjištění informací o provozním a technickém stavu rotujících pro účely efektivního a strategického plánování údržby. V procesu plánování se tedy stává hodnocení technického stavu strojů, a průběhu vibrací za dobu provozu, nepostradatelnými faktory.

## 1.1 Kmitání a vibrace

Mechanické kmitání nebo také vibrace, popisujeme jako pohyb hmotného bodu kolem rovnovážné polohy, nebo také pohyb tělesa zavěšeného na pružině. Ve vibrodiagnostice vznikají jako důsledek pohybu rotačních a lineárních strojů. Výslednou vlnu vibrací můžeme popsat pomocí amplitudy a fáze.



obr. 1 Harmonický pohyb pružiny [1]

$$y = y_{max} \cdot \sin(\omega \cdot t) \quad [\mu m] \quad [1]$$

$$v = \frac{dy}{dt} \quad [m \cdot s^{-1}] \quad [2]$$

$$a = \frac{dv}{dt} \quad [m \cdot s^{-2}] \quad [3]$$

Peak – popisuje amplitudu krátkodobého jevu.

Peak – Peak – rozkmit, je vzdálenost mezi nejvyšším a nejnižším vrcholem vlny

Average – Protože průběh vibrací nemá sinusový průběh je tato hodnota nenulová

RMS – je nejdůležitější hodnotou, odráží časový průběh vibrací a je měřítkem pro hodnocení vibrací.

### 1.1.1 Typy vibrodiagnostiky

*Jednorázové měření* - slouží k posouzení technického stavu zařízení a pro stanovení základních příčin vibrací. Tímto typem měření lze získat informace pro odstranění vibrací, ale předpovídat budoucí vývoj stavu zařízení je obtížné.

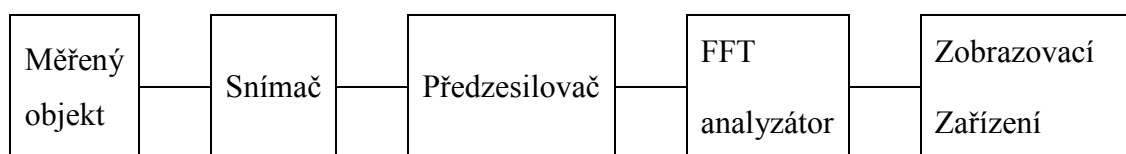
*Periodické měření* – je měření v pravidelných intervalech čímž získáváme informace o vývoji stavu strojního zařízení.

*Stabilní monitorování* – pomocí on-line nepřetržité sledování stavu zařízení a okamžitého vyhodnocení stavu strojního zařízení. Tento typ zařízení se obvykle používá pro bezpečnostní monitoring strojního zařízení s možností automatického odstavení při překročení poplachového stavu.

Viz. [1]

### 1.1.2 Měření vibrací

Snímač obecně znamená označení pro zařízení, které je určeno pro snímání a detekci různých fyzikálních veličin, vlastností látek a technických parametrů. Snímače vibrací sledují diagnostický signál měřeného prvku, jedná se o měření mechanického pohybu v měřeném bodě kolem rovnovážné polohy. Snímače umísťujeme na první místo v měřicím řetězci.



obr. 2 Měřicí řetězec

### *Akcelerometry*

Akcelerometry, senzory pro měření statického nebo dynamického zrychlení, přeměňují zrychlení pomocí piezoelektrického jevu na měřitelný elektrický signál. Dnes nejpoužívanější princip, využívaný v integrovaných akcelerometrech, byl vynalezen již v roce 1979.

*Piezoelektrické akcelerometry* – Mají dvě hlavní části seismickou hmotu, která převádí podle Newtonova zákona zrychlení na sílu a piezoelektrický materiál, generující elektrický náboj úměrný mechanickému namáhání vzniklé působící silou [2].

*Piezorezistivní akcelerometr* - Měří změny odporu piezokeramiky při mechanickém namáhání vzniklém působícím zrychlením měření odporu piezomateriálu. Oproti piezoelektrickým, mohou měřit i stálou (neměnnou) akceleraci, frekvenci změn od 0 Hz.

*Tepelné akcelerometry* - Využívají změny přenosu tepla klidného a proudícího plynu a snímání rozložení teploty v okolí zdroje tepla. Senzor neobsahuje žádné mechanické pohyblivé části, není náchylný na elektromagnetické rušení.

*Kapacitní akcelerometry* - Měří kapacitu kondenzátoru mezi elektrodami, z nichž jedna je pevně uchycena a druhá se pohybuje společně se seismickou hmotou.

Viz. [2]

### *Frekvenční rozsah a uchycení snímačů*

Uchycení snímačů může být provedeno několika způsoby.

*Dotyková jehla* – nejnižší citlivost, vhodná pro orientační měření do 1 kHz.

*Včelím voskem* – používá se jen v laboratorním měření pro menší snímače .

*Magnet* – nejčastější způsob uchycení v provozním měření do 2 kHz.

*Lepená podložka* - nejvyužívanější metoda uchycení snímače

*Šroubové spojení* – spojení je velmi tuhé, používá se většinou spoj se závitovým červem, snadno se nahradí

### 1.1.3 Metody vibrační diagnostiky

#### *Celkové vibrace*

Měřením celková vibrační energie stroje nebo jeho části v zvoleném frekvenčním rozsahu a její srovnání s normální úrovní vibrací, získáme informaci o celkovém stavu stroje. Nejčastěji měříme hodnoty rychlosti nebo zrychlení, poté zjišťujeme dalšími metodami, co způsobilo vyšší hodnoty.

#### *Mohutnost vibrací*

Vibrace měříme v rozsahu 10Hz-1kHz na funkčně důležitých částech stroje a porovnáváme je s předchozími a limitními hodnotami. Jestliže tyto hodnoty zapíšeme do grafu, v závislosti na době provozu stroje získáme vanovou křivku, z které můžeme podle vývoje trendu prognózovat zbytkovou životnost a údaje pro plánování údržby.

#### *Frekvenční analýza pomocí FFT*

Rozloží časový záznam signálu na periodické děje a zobrazí je v souřadném systému frekvenčního spektra. Zobrazení frekvenčního spektra má různé možnosti například překrývání frekvenčních spekter pro porovnání změny spektra po opravě, nebo kaskádové zobrazení pro zjištění velikosti vibrací při rozběhu a doběhu.

#### *Kepstrální analýza*

Hledá periodicky opakující se děje ve frekvenčním spektru mezi sousedními frekvenčními čarami. Metoda je vhodná pro frekvenční spektrum s několika nosnými čarami, na která jsou nemodulována boční pásma. Je vhodná především pro diagnostiku převodovek, pro identifikaci amplitudové a frekvenční modulace.



### ***Orbitální analýza***

Orbit je dynamická složka vibrací ze dvou vzájemně kolmých snímačů. Data zanesená v souřadném znázorňují pohyb osy hřídele kolem statické polohy za jednu či více otáček. Používá se především pro kluzná ložiska

### ***Modální analýza***

Tato metoda se používá ke stanovení vlastní frekvence konstrukce, tlumení na vlastní frekvenci konstrukce, a vlastní tvary kmitů (deformace konstrukce při rezonanci). Můžeme modifikovat model stávající konstrukce a zjistit změnu vlastní frekvence. Matematické modelování spočívá v rozkladu a náhradě vzájemně vázaných diferenciálních rovnic popisující kmitavý pohyb konstrukce na soustavu nezávislých rovnic. Experimentální metoda měří odezvu konstrukce, při jejím řízeném buzení, ve zvolené síti bodů. Vyhodnocením se určují modální frekvence a modální tvary kmitů.

### ***Metoda zviditelnění provozních tvarů kmitů***

Z frekvenčního spektra získané ve více bodech můžeme získat velké množství izolovaných informací, které nedávají přehlednou informaci o vzájemných vazbách mezi signály. Tento problém řeší metoda PTK zviditelnění provozních kmitů. Při měření používáme dvou snímačů jeden umístěný na místě se silným signálem (referenční) a druhým měříme všechny směry vibrací jednotlivých měřících bodů. Následně můžeme na počítači rozhybat drátový model s vyšší amplitudou a nižší frekvencí. Touto metodou můžeme zjistit slabá místa objektu jako vadnou montáž, uvolněný základ, a chybnou konstrukci.

### ***Metoda pro valivá ložiska***

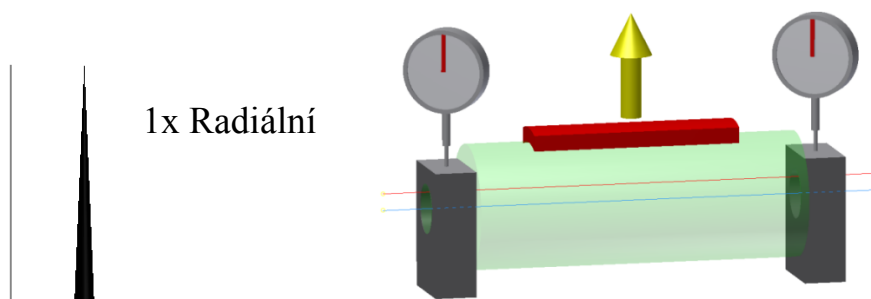
Viz. kapitola 1.6

### 1.1.4 Základní závady v provozní vibrodiagnostice

#### *Nevyváženost*

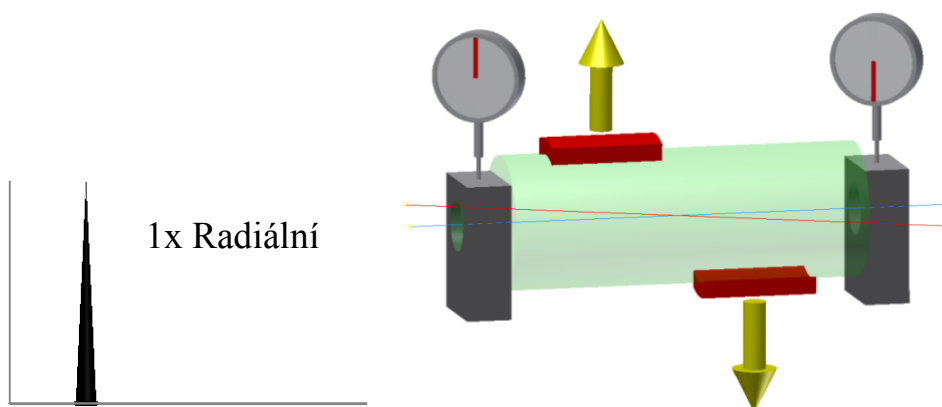
Pod pojmem nevyváženost se rozumí výstředné rozložení hmoty rotoru vzhledem k ose rotace. Nevyváženost je stav, při kterém se dynamické síly nebo pohyby vzniklé v rotoru přenášejí na ložiska rotoru a působí jako setrvačné síly. Ve spektru se objeví vibrační složka s frekvencí odpovídající otáčkám rotoru.

*Statická nevyváženost* - Působí zde jedna síla. Vibrace u obou ložisek v radiálním směru ve fázi.



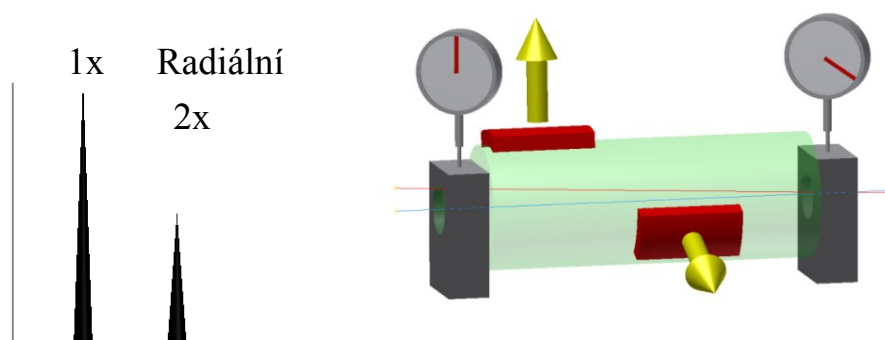
obr. 3 Statická nevyváženost

*Momentová nevyváženost* - Vibrace u obou ložisek je v radiálním směru ve fázi.



obr. 4 Momentová nevyváženost

*Dynamická nevyváženost* - Je převládajícím typem nevyváženosti a je kombinací statické a momentové nevyváženosti. Vibrace nejsou nikdy ve stejné fázi



obr. 5 Dynamická nevyváženost

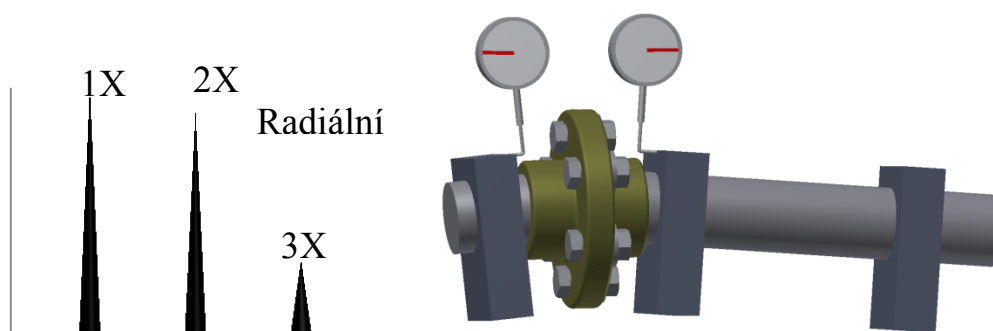
### ***Vyvažování***

Vyvažování se provádí za účelem odstranění nerovnováhy rotujících částí způsobující vibrace při chodu strojních zařízení a zbytečnou zátěž ložisek. Samotné vyvažování se potom provádí přidáváním materiálu (závaží ve vyvažovacích rovinách, přivařený materiál apod.), nebo jeho odebíráním (odvrtáváním, broušení apod.).

### ***Nesouosost***

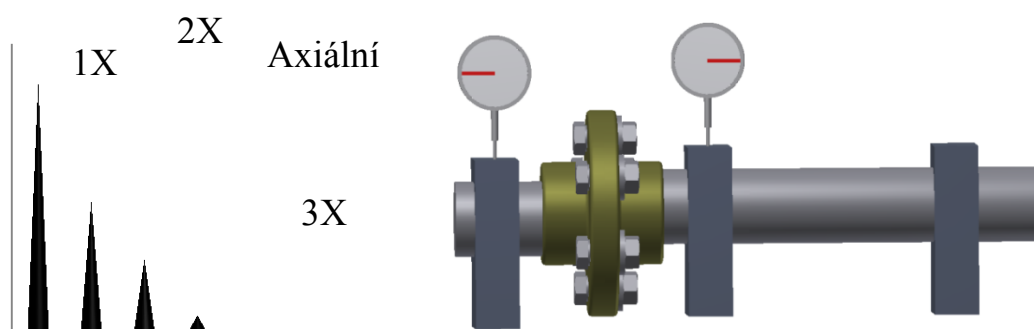
Nesouosost je příčinou předčasného a opakujícího se opotřebení mechanických součástí stroje. Způsobuje výskyt zvýšeného tření, a zatížení v ložiscích, spojkách a těsnění, zahřívání energetické ztráty, degradace maziva, uvolnění nebo lom spojkových a kotevních šroubů.

*Úhlová nesouosost* - osy hřídelů leží v jedné rovině, svírají však spolu úhel. Jsou charakterizované velkými axiálními vibracemi, které působí v protifázi.



obr. 6 Úhlová nesouosost

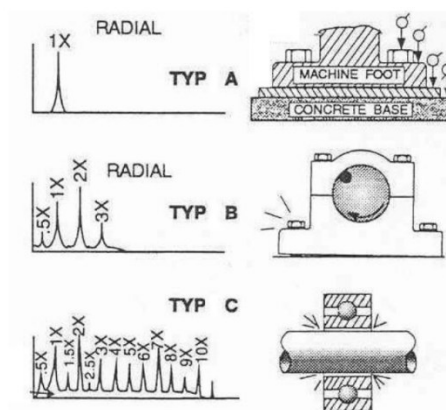
*Rovnoběžná nesouosost* - je-li ve frekvenčním spektru vibrací zřetelná složka s dvojnásobnou otáčkovou frekvencí, jedná se o ne souosé ustavení hřídelů. Po odstranění této závady (nesouososti) zmizí složka vibrací (špička) s dvojnásobnou otáčkovou frekvencí.



obr. 7 Rovnoběžná nesouosost

### Uvolnění

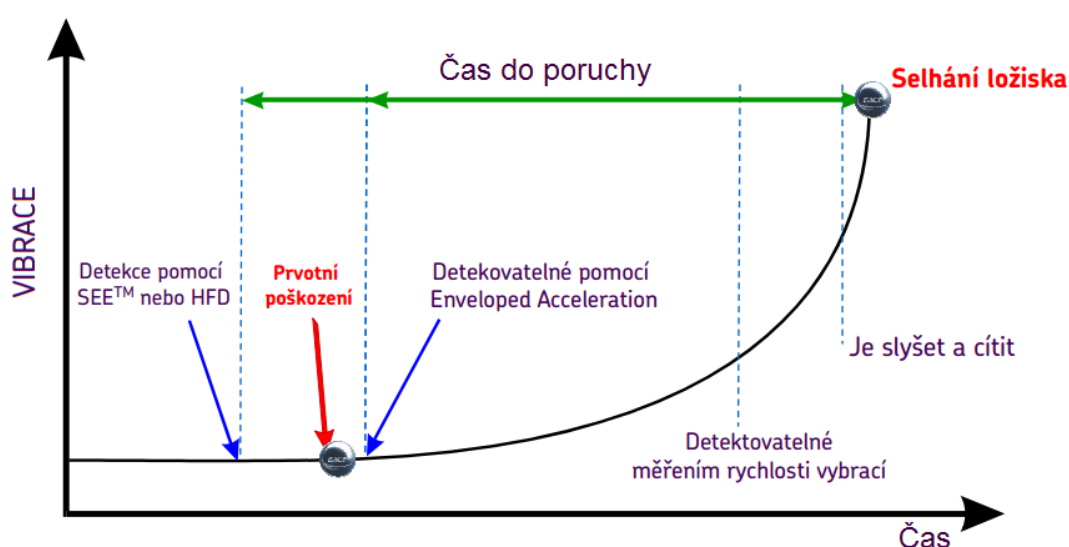
Mechanické uvolnění je projevem vůle. Projevuje se v harmonických a subharmonických frekvencích.



obr. 8 Mechanické uvolnění a jeho typická spektra [3]

#### 1.1.5 Vibrodiagnostika valivých ložisek

Existuje-li v drahách nebo na valivém elementu trhlinka, je rovnoměrný pohyb narušen a vzniká dynamický ráz. Důsledkem rázu je signál, který se šíří tělesem ložiska, domkem a dalšími strukturami stroje až do místa, kde ho jsme schopni zachytit snímačem a vyhodnotit. Protože se přes trhlinu odvalují stále další elementy, vzniká série rázů.



obr. 9 Typický vývoj poškození ložiska [4]

### *Fáze poškození ložiska*

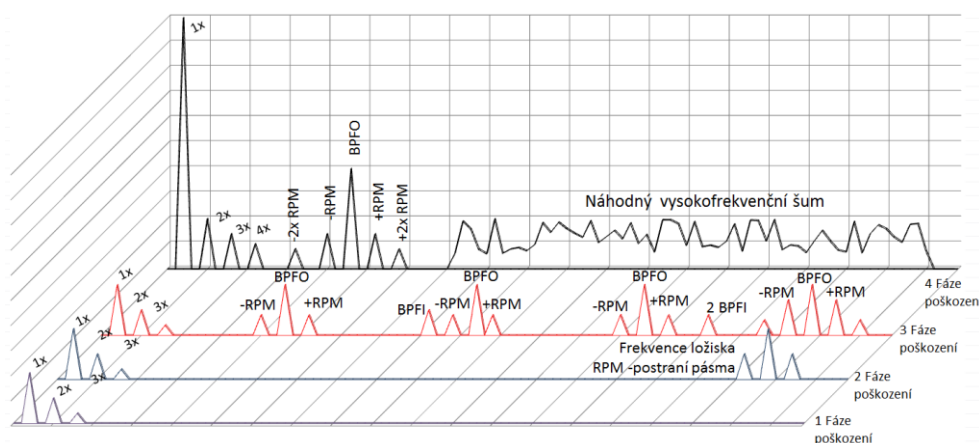
*První fáze poškození* - Identifikace problému ložiska v ultrazvukové oblasti při frekvencích od 250kHz do 350kHz. Na tyto frekvence jsou použitelné metody Spike Energy [gSE], HDF [g], Schock pulse [dB]. Zbývá přibližně 10-20% základní trvanlivosti ložiska  $L_{10}$ .

*Druhá fáze poškození* - Ložiskové vady začínají vzbuzovat vlastní frekvence části ložiska, vyskytují se především v oblasti 500Hz až 2000Hz. Na konci druhé fáze se objevují postranní pásma nad rezonanční špičkou. Zbývá přibližně 5-10% základní trvanlivosti ložiska  $L_{10}$ .

*Třetí fáze poškození* - Objeví se ložiskové frekvence závady a její harmonické složky. S opotřebením se objevuje více harmonických složek ložiskové frekvence a počet postranních pásem roste. Fáze poškození Zbývá přibližně 1-5% základní trvanlivosti ložiska  $L_{10}$ .

*Čtvrtá fáze poškození* - Diskrétní ložiskové frekvence závad začínají mizet a jsou nahrazeny, širokopásmovým vysokofrekvenčním šumem. Zbývají řádově hodiny 1% základní trvanlivosti ložiska  $L_{10}$ .

Viz. [5]



obr. 10 Vývoj poškození ložiska po fázích



### *Alternativní způsoby zjištění vad ložisek*

#### *Obálková (envelope) metoda*

Měření rázových impulsů, které vznikají odvalováním valivých elementů ložiska přes poruchy vzniklých opotřebením. Příchozí signál z akcelerometru prochází přes vysokofrekvenční filtry a obálkový detektor, kde dochází k vyhlazení signálu.

#### *Crest Faktor*

Patří do skupiny metod, které zpracovávají již naměřené hodnoty. Jeho velká citlivost je využívána i pro kontrolu mazacích filmů. Jeho nevýhodou je, že při velkém poškození ložiska se jeho hodnota velmi podobá nepoškozenému ložisku.

#### *Akustická emise*

Pomocí této metody lze detekovat první příznaky vznikajícího poškození. Principem je snímání energie vln, které vznikají vlivem degradačních procesů. Akustická emise se dělí na nespojitou (impulsní) a spojitou. Pro nespojitou emisi je typický krátký, postupně tlumený signál v řádu několika nanosekund, který je charakteristický např. pro vznik trhliny. Signál spojitě akustické emise je obvykle vyvolán událostmi, které nejsou časově ohraničeny, bývají to fyzikální jevy jako například kavitace v kapalině, plastická deformace při styku kovových povrchů.

#### *Spectral emission energy (SEE-SKF)*

Od ostatních metod se odlišuje kombinací vysokofrekvenčních měření v oblasti 250 kHz – 350 kHz s obálkovou metodou pro zjištění stavu ložiska. Vytváření obálky spočívá v separaci pouze vysokofrekvenčních kmitů. Separaci vysokofrekvenčních kmitů se snižuje energetický obsah, ale poruchy v signálu stále zůstávají ve stejných časových intervalech.

#### *Shock Pulse Method*

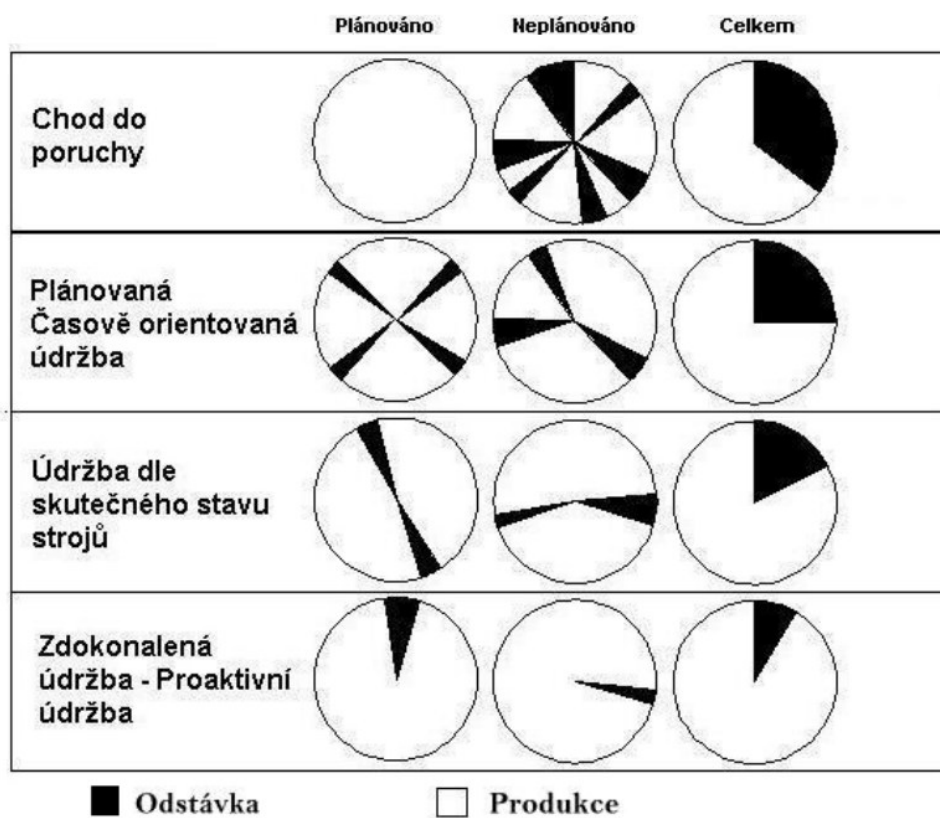
Je metoda zpracování signálu využívající k měření kovový ráz a specifický hluk jaký můžeme najít u valivých elementů ložisek a ozubených kol.

Viz. [1]

## 1.2 Základní typy údržby

Údržba je nedílnou součástí každého výrobního procesu výrobní společnosti. Je to souhrn všech činností vedoucích k udržení objektu v provozuschopném stavu. Provozuschopnost, je schopnost objektu plnit danou funkci v mezích, které jsou dány provozními podmínkami.

- Chod do poruchy - objekt je provozován bez dozoru diagnostiky, údržba se provádí v době, až se vyskytne porucha, nejjednodušší typ údržby bez jakýchkoli nákladů do havárie využitelný pro nedůležité nahraditelné zařízení, které výpadkem neovlivní výrobní proces.
- Plánovaná údržba - je zaveden časový cyklus, při kterém je prováděna naplánovaná preventivní prohlídka a údržba.
- Proaktivní údržba – podle koncepce této údržby se soustředujeme na příčiny vzniku opotřebení, vyházejí ze zkušeností s provozem stroje. Snažíme se maximalizovat účinnost a výkonost zařízení.
- Údržba dle skutečného stavu – údržba s využitím technické diagnostiky kde pomocí informací zjištěných z měření nevyhodnocujeme pouze momentální stav a pomocí tendování je prováděna prognóza určení zbytkové životnosti strojního zařízení.



obr. 11 Poměr odstávky a produkce, podle typu údržby a odstávky [6]

### 1.3 Normy pro hodnocení vibrací

V této části jsou popsány následující normy ČSN ISO, které jsou bezprostředně nutné pro měření a vyhodnocování absolutních a relativních vibrací rotačních strojů.

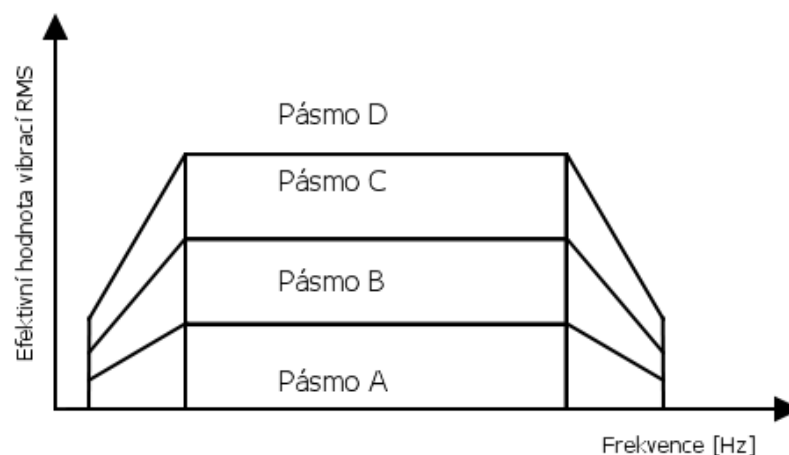
ČSN ISO 2041:1990, Vibrace a rázy – Slovník
ČSN ISO 5348:1998 Vibrace a rázy – Mechanické připevnění akcelerometrů
ČSN ISO 10816-1:1995 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 1: Všeobecné směrnice
ČSN ISO 10816-2:2001 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 2: Parní turbíny a generátory nad 50 MW na pozemních základech s normálními pracovními otáčkami 1 500 1/min, 1 800 1/min, 3 000 1/min a 3 600 1/min
ČSN ISO 10816-3:2001 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 3: Průmyslové stroje se jmenovitým výkonem nad 15 kW a jmenovitými otáčkami mezi 120 1/min a 15000 1/min při měření in situ
ČSN ISO 10816-4:1998 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 4: Soustrojí poháněná plynovou turbínou s výjimkou leteckých pohonných jednotek
ČSN ISO 10816-5:2000 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 5: Soustrojí ve vodních elektrárnách a čerpacích stanicích
ČSN ISO 10816-6:1995 Vibrace – Hodnocení vibrací strojů na základě měření na nerotujících částech – Část 6: Stroje s vratným pohybem se jmenovitým výkonem nad 100 kW

*obr. 12 Výběr z normy [7]*

### 1.3.1 Kritéria hodnocení vibrací

#### *Kritérium I: Velikost vibrací*

Nejvyšší naměřená hodnota z různých míst stroje se nazývá mohutnost vibrací. Dle normy ČSN ISO 10816 jsou definovány mezní hodnoty mohutnosti vibrací, které přiřazují stroj podle stavu do čtyř pásem. Zatříděním stroje do pásma vibrací napomáháme k rozhodnutí o dalším provozu stroje nebo potřebném řešení.



obr. 13 Graf pásem pro hodnocení vibrací [7]

Pásmo A - vibrace nových strojů.

Pásmo B – Vibrace dlouhodobě provozovaných strojů

Pásmo C - neuspokojivé pro dlouhodobý a trvalý provoz. Provoz do opravy.

Pásmo D - hodnoty vibrací nebezpečné pro provoz, mohou způsobit poškození.

#### *Kritérium II: Změna vibrací*

Sleduje se změna vibrací vzhledem k referenční hodnotě vibrací, která je stanovena za předem daných podmínek stavu stroje. Hodnocení stroje vyžaduje dlouhodobější monitorování. Dle ČSN ISO 10 816 jsou stanoveny mezní hodnoty změny vibrací.

**Třídy strojů dle normy ČSN ISO 10816.**

Efektivní rychlost vibrací [mm/s]	Třída I	Třída II	Třída III	Třída IV
0,28	A	A	A	A
0,45				
0,71				
1,12	B	B	B	B
1,8				
2,8	C	C	C	C
4,5				
7,1	D	D	D	D
11,2				
18				
26				
45				

*obr. 14 hodnocení vibrací na základě rychlosti kmitání ČSN ISO 10816 [7]*

Třída I - elektrické motory o výkonu maximálně 15 kW.

Třída II - elektrické motory s výkonem 15 až 75 kW, motory a stroje připevněné na speciálních základech, o výkonu do 300 kW.

Třída III - velké motory s rotačními částmi, umístěné na pevných a těžkých základech, ve směru měření vibrací tuhé.

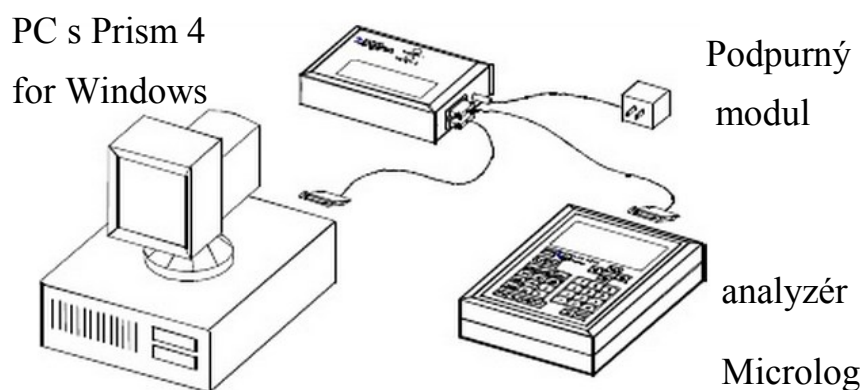
Třída IV - velké motory s rotačními částmi, umístěné na pevných a těžkých základech, ve směru měření vibrací měkké.

Viz. [7]



## 2 Diagnostický systém Microlog/Prism

Přenosné analyzátory Microlog jsou přístroje pro sběr a ukládání dat spolu s podpurným modulem soutvarém softwarem Prism který je vhodná pro analýzu a ukládání dat tvoří diagnostický systém firmy SKF.



*obr. 15 Zapojení systému Microlog/Prism [8]*

### 2.1 Analyzátor Microlog

Kromě akcelerometru ze kterého získáváme dynamická data, můžeme k analyzátoru připojit další snímače jako teplotní, tlakové a proudové snímače. Snímače mohou být připojeny jako monitorovací systém v nepřístupných podmínkách pevně nainstalované snímače nebo pochůzkové ruční magnetické snímače.

Podle zvoleného režimu sběru dat můžeme snímat data po předem vytyčené trase (Route), mimo trasu (NonRoute) a jako analyzátor (Analyzer). K analýze dat můžeme použít i samotný přístroj a zobrazit data jako zobrazení spektra, časového signálu a fáze na jednoduché, nebo dělené obrazovce. V přístroji můžeme využít aplikace pro základní a pokročilé vyvažování, sledovací filtr, cyklickou analýzu, analýzu napájecího proudu, rázovou zkoušku a analýzu rozběhu a doběhu.

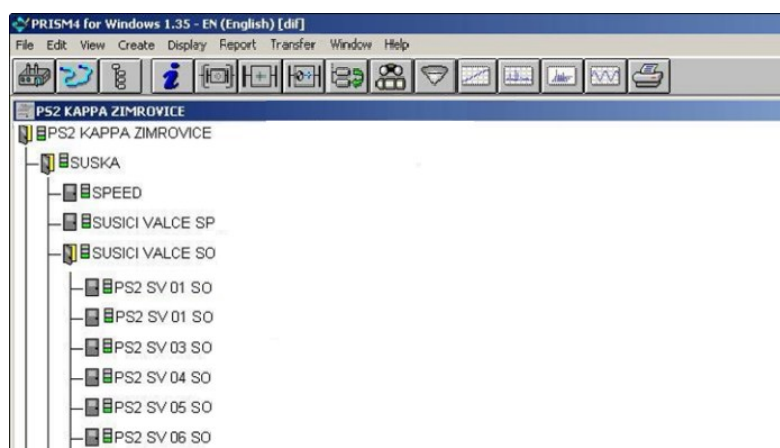
Viz. [9]



obr. 16 Microlog CMVA 60 [9]

Přístroj ovládáme pomocí tlačítek. Po zapnutí se objeví hlavní menu. V hlavním menu najdeme položky jako „Route“ „NonRoute“ – mimo cestu, „Transfer“ - přesun, „Analyzer“ – analýza, „Review“ – průzkum, „Report“ – zpráva a „Utilities“ – utility. Pro měření po nahrané trase zvolíme položku „Route“ pomocí klávesnice, potvrdíme tlačítkem „Enter“. Vybereme položku měřicího místa, u kterého chceme začít měření, potvrdíme tlačítkem „Enter“. Snímač umístíme dle požadovaného bodu a směru. Pomocí tlačítka „Enter“ potvrzujeme měření a pohybujeme se mezi jednotlivými měřeními. Stav baterie sledujeme v hlavním menu v položce „Utilities“. Viz [9].

## 2.2 Popis a funkce software Prism4



obr. 17 Struktura řazení měřících bodů

Pomocí software Prism můžeme analyzovat, uchovávat a spravovat data získaná analyzátozem Microlog. V Prismu vytváříme pochůzkové trasy s předdefinovanými měřicími místy, ty stahujeme do měřicího přístroje. V Prism software můžeme graficky zobrazovat a porovnávat s předchozími daty, nastavené alarmy umožňují detekci poškození z velkých odchylek od provozních hodnot.

### ***Nastavení měřicího bodu***

„*Setup*” zobrazí nastavení sbíraného signálu z měřeného bodu

„*Overall*“ nastavení úrovně alarmů Clear, Alert a Danger

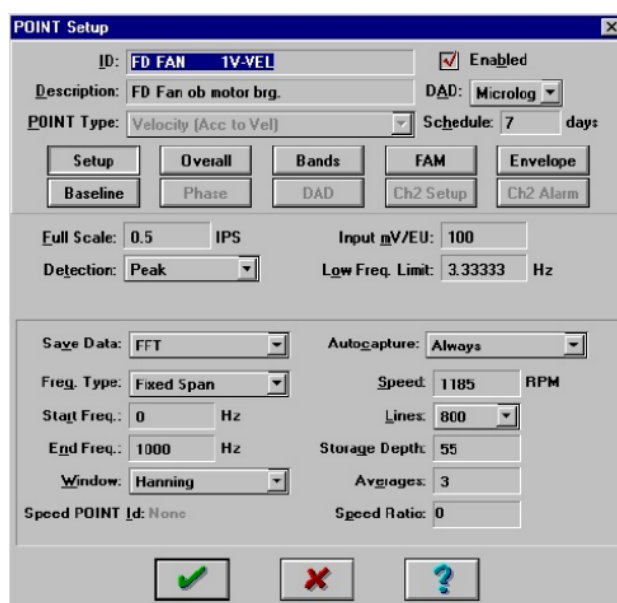
„*Bands*“ nastavení spektrálních alarmů při měření FFT

„*FAM*” nastavení ložiska a jeho chybové frekvence a chybové frekvence

„*Envelope*” obálka vysokofrekvenčních dějů

„*Baseline*” zobrazení frekvenčních spekter měřeného bodu

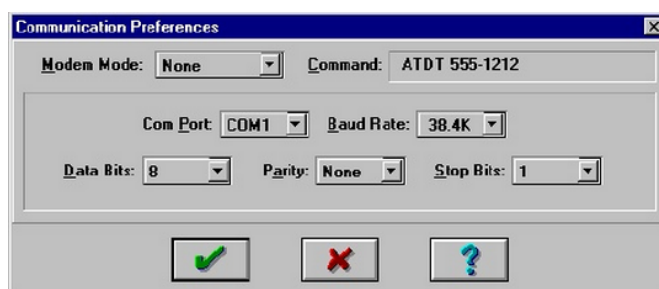
„*Phase*” polární vektorový graf ukazující amplitudu kmitu a fáze vzhledem k referenci



*obr. 18 Okno Point Setup [8]*

### *Nastavení komunikace*

Nastavení datové komunikace mezi Prism a Microlog. Nabídka „File“ > „Preferences“ > „Communication“ otevře okno „Communication Preferences“. Dále nastavíme jednotlivé položky. „Modem Mode“ vybereme „None“, které se používá se pro drátové spojení Micrologu a hostitelského počítače. „Com Port“ specifikuje vstupní port do PC. „Baud Rate“ nastaví vstupní a přenosové rychlosti, musí odpovídat nastavení v Micrologu.



*obr. 19 Dialogové okno Communication Preferences [8]*

### *Přenos dat*

Nahrání trasy do Micrologu. Označíme si měřicí body, které chceme nahrát do analyzátoru, pomocí menu „Transfer“ > „Download“ > „From Active Hierarchy“ vybereme „Selected Nodes“ pro označená data a potvrdíme. Začne načítání dat. Po načtení dat se objeví okno, kde zahájíme přesun dat. Nyní můžeme zahájit měření

### 3 Praktická část

Praktická část se konala ve společnosti Smurfit Kappa Žemrovice, zde bylo provedeno měření na papírenském stroji pro sušení dvouvrstvého kartónu za chodu.

#### 3.1 Popis měřeného papírenského stroje



Rychlostní parametry stroje	<p>záťahová - 15m/min po dobu 30 min</p> <p>provozní min. – 150 m/min</p> <p>provozní max. – 380 m/min</p> <p>konstrukční – 400 m/min</p>
Výrobek	<p>Fluting, liner , dvouvrstvé kartony</p> <p>Gramáž 110 -225 g/m<sup>2</sup></p> <p>Šířka 2500</p>

### 3.2 Měření

Měření se zabývalo pochůzkovou vibrační diagnostikou pomaloběžných ložisek sušících válců papírenského, stroje na straně obsluhy. Bylo prováděno pomocí analyzátoru Microlog CMVS 10, dále pak uloženo k vyhodnocení v software Prism.



*obr. 20 Ložisko 23036 sušícího válce*

#### 3.2.1 Postup měření

Do analyzátoru jsem přes příkaz „Transfer“ a software Prism nahrál zvolené měřicí body pochůzkové trasy. V našem případě měřicí body na straně obsluhy, které jsou dobře přístupné za zdvihacími vraty, která se z důvodu ztráty teploty uvnitř sušící jednotky a následnému nedostatečnému vysušení papíru na válcích neotevírají dlouhodobě. Po té jsem změřená data nahrál do software Prism.

### 3.3 Protokol měření

Výsledný protokol měření je uložen v online databázi viz. příloha A.



## 4 Databáze provozních příkladů z vibrodiagnostiky

Pro tvorbu databáze jsem po odzkoušení a zavrnutí několika možností zvolil software *Drupal*, který jako jeden z mála splňuje všechny požadavky.

Jako první jsem databázi vytvořil v software *Microsoft Access*, který je jednoduchý pro tvorbu i grafické zpracování, ale nabízí publikování online jen přes server služby Microsoft Share Point.

Druhou volbou byla služba *Google Sites*, která umožňuje tvorbu webu dokonce i jednoduché databáze, ale jen velmi omezenými prostředky její správy. Ukládání dat do tabulky přes formuláře a grafické prostředí zpracované způsobem WYSIWYG.

Zpracování vlastního *PHP kódu* by bylo pro danou databázi asi nevýhodnější, ale pro mě nereálné z důvodů časové náročnosti pochopení PHP programování.

*Mediawiki* je také systém pro zprávu, ve kterém je vytvořena wikipedie a další webové stránky. Z důvodu komplikované instalace doplňkových modulů jsem použil jako systém pro zprávu obsahu *Drupal*.

### 4.1 Server

Pro vytvoření lokálního serveru jsem použil službu EasyPHP která nainstaluje server Apache, prostředí PHP, databázi MySQL a správu databáze PhpMyAdmin. V Apache config musíme nastavit veřejnou IP adresu vlastní databáze i s prostředím je uložena na tomto serveru ve složce „www“. Pro tuto možnost je nutné mít přesměrovan web port 80 nebo 8080 až na tento počítač.

Pro tvorbu online databáze jsem na rok předplatil webhostingové služby, na serveru endora.cz.

## 4.2 Prostředí Drupal

Drupal je open-source software pro zpravu obsahu napsaný v PHP. Jako koncový systém ho používají asi 2,1% internetových stránek od blogů po korporátní a politické weby. Standartní jádro Drupalu obsahuje základní funkce, které jsou společné pro všechny systémy zprávy obsahu. Jako registrace uživatelského účtu, menu management, RSS kanály, rozvržení stránky, přizpůsobení a administraci systému. K lednu 2013 existuje více než 20100 možných doplňkových funkcí. Drupal, nabízí sofistikované prostředí pro vývojáře, díky kterému můžeme i bez programovacích dovedností docílit základní instalace a správy webových stránek. Aplikace Drupal běží na jakémkoliv serveru s PHP a SQL databází. Viz [10].

### 4.2.1 Vybrané nainstalované moduly

*CCK (Content Construction Kit)* – umožní vytvářet pole

*Better Exposed Filters* – nastavení filtrů

*Galeryformattet, Lightbox2* – práce s obrázky

*CKEditor* – Wysiwyg editor pro webové formuláře

*Views* – zobrazení obsahu jinak než nabízí jádro Drupalu nebo standartní výstup modulu

*Views Hacks* – Rozšíření modulu *Views* (jednoduší práce s filtry)

*Wysiwyg* – převedení HTML do wysiwyg

*Multiupload imagefield widget* – nahrávání většího počtu obrázků

### 4.2.2 Zvolené téma vzhledu

Sky je verze tématu Adaptivetheme, podporuje mobilní zařízení, to dává okamžitou podporu pro mobilní web. Umožňuje změnit parametry, jako je rozložení bloků, nastavit adaptivní nebo pevné šířky stránky, vlastní písma, nabídky, drobečkovou navigaci, výsledky vyhledávání, barvy a mnoho dalších aspektů Drupal stránek.

## 4.3 Vlastní databáze



obr. 21 QR kód odkazu na databázi

### 4.3.1 Příklady zobrazeného obsahu

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**  
Databáze provozních příkladů z vibrodiagnostiky

**Databáze**    Textová část bakalářské práce

**Databáze**

Typ stroje    Diagnostické úkony    Průmysl    Diagnóza    Strojní část    Provozní podmínky

☐ převodovka    ☐ frekvenční analýza    ☐ papírenský    ☐ neustavenost    ☐ hřídel    ☐ otáčky

☐ stejnosměrný motor    ☐ měření vibrací podle ISO10816    ☐ nevývaha    ☐ ložisko    ☐ výkon

☐ střídavý motor    ☐ vada ložiska    ☐ ozubení

☐ čerpadlo    ☐ vada ozubení    ☐ spojka

Název	Obrázek	Popis
Analýza vibrací PS1		Na papírenském stroji PS1 byla provedena analýza vibrací na stojanech a ložiskových domcích sušící skupiny. Měření bylo provedeno na 2 a 6 SSK. Provozní rychlosti při najíždění stroje byly 600 - 810 m/min. měřeny byly časové průběhy vícekanálovou soupravou SONY. Naměřené průběhy pak byly zpracovány do kaskád rychlost vibrací vef RMS a, obálka zrychlení ENV.
Analýza vibrací - 1BM, 4PČ1M, 4HČ1M		Bylo provedeno měření vibrací na 1BM, 4PČ1M a 4HČ1M. Motory 4PČ1M a 4HČ1M byly po generální opravě. Tyto motory byly měřeny při zatížení, sespojované. Motor 1BM byl měřen naprázdno rozpojený, před opravou.
Online analýza měření vibrací MDO1 a SV3		Bylo provedeno měření vibrací na 1BM, 4PČ1M a 4HČ1M v závodě TRANSPETROL, Šahy. Motory 4PČ1M a 4HČ1M byly po generální opravě. Tyto motory byly měřeny při zatížení, sespojované. Motor 1BM byl měřen naprázdno rozpojený, před opravou.
Bump test - POPE		Byl proveden rázový test na pohonu POPE. Byl proveden rázový test motorů ve skladě a změřeny vibrace na pohonu POPE při testovací rychlosti 380 m/min. Buzení vlastních frekvencí bylo provedeno dřevěným trámem a kladivem.

obr. 22 Zobrazení hlavní strany

Na hlavní straně je zobrazeno základní pole Název, doplňující fotografie a popis omezený 400 znaky a dvěma větou. Filtry třídění usnadňují práci a vyhledávání v databázi.

The screenshot shows a web application interface for 'BAKALÁŘSKÁ PRÁCE' (Bachelor's Thesis). The top navigation bar includes links like 'Ovládací panel', 'Obsah', 'Struktura', 'Vzhled', 'Uživatelé', 'Moduly', 'CTools plugin example', 'Nastavení', 'Logy', 'Advanced help', 'Example help', 'Nápověda', 'Ahoj admin', and 'Odhlásit'. Below the navigation bar is a logo and the title 'BAKALÁŘSKÁ PRÁCE' with the subtitle 'Databáze provozních příkladů z vibrodiagnostiky'. The main content area is titled 'Analýza rozvlákňovače VOITH' and contains a protocol entry. The entry includes fields for 'Popisek' (Z11144 VIB VOITH NEP), 'Rok' (2 011), and 'Firma' (Smurfit Kappa). The 'Popis' (Description) field contains a detailed text about the gearbox analysis. The 'Závěr' (Conclusion) field contains a summary of the findings. The 'Doporučení' (Recommendation) field contains a recommendation for gearbox replacement. A photo of the gearbox is shown with the caption 'Foto 1 Stav ozubení po demontáži převodovky. Výrazné poškození na vstupní hřídeli.' Below the photo are four smaller images showing different views of the gearbox. The 'Typ stroje' (Machine type) is 'převodovka', 'Diagnóza' (Diagnosis) is 'vada ozubení', 'Průmysl' (Industry) is 'papírenský', and 'Strojní část' (Mechanical part) is 'ozubení hřídel'.

Popisek:  
Z11144 VIB VOITH NEP

Rok:  
2 011

Firma:  
Smurfit Kappa

Popis:  
Převodovka Voith vykazovala od své montáže zvýšené hodnoty vibrací. Podle toho bylo možné předpokládat snížení životnosti převodovky. Dnešního dne bylo provedeno neperiodické vyhodnocení měřených dat systémem Octavis. Na bodech G3, G4, G5 je patrný nárůst hodnot.

Závěr:  
Dominantní frekvenci je 1x zubová frekvence prvního převodu (hruška, talířové kolo) 348 Hz. Tato frekvence je však modulována otáčkovou frekvencí vstupní hřídele 24,9 Hz. Nepřípustné vibrace. Uvolnění na vstupní hřídeli (hrušce).

Doporučení:  
**Stř.** výměna převodovky. Je reálná možnost havárie stroje. Proto doporučuji výměnu převodovky.

Foto 1 Stav ozubení po demontáži převodovky. Výrazné poškození na vstupní hřídeli.

Typ stroje:  
převodovka

Diagnóza:  
vada ozubení

Průmysl:  
papírenský

Strojní část:  
ozubení hřídel

Created by: Jiří Farný

obr. 23 Příklad zobrazení vloženého protokolu

### 4.3.2 Přihlášení a práva uživatele

- Nepřihlášený uživatel - zobrazení obsahu.
- Přihlášený uživatel - může přidávat, odebírat a editovat protokoly.
- Administrátor - má všechna práva a může je přidělovat a odebírat jak sobě tak ostatním uživatelům.

### 4.3.3 Administrace obsahu (pro uživatele)

Příkaz „Přidat protokol“, otevře okno nového protokolu, zde je možné přidat formátovaný obsah polí obrázky a uživatelské filtry k třídění obsahu.

Uživatel má taky přístupné okno „Typy obsahu“ pravomoc upravovat „Přidat protokol“, v položce „Upravit“ u jednotlivých polí upravovat parametry polí. Konkrétně je toto právo uděleno z důvodu přidání filtru podle potřeb uživatele při tvorbě obsahu databáze.

Dále pak správu obsahu v položce „Obsah“ pro zobrazení všech přidanych obsahů. Ty může uveřejňovat a skrývat před ostatními uživateli.

## 4.4 Přenos databáze

Vlastní databáze má dvě části SQL databázi a grafické prostředí a data uložené ve složce „sites“. Pro přenos dat na server je vhodné požit využito připojení SQL nebo webftp. SQL databáze je nutno importovat přes správce SQL databází. A nastavit přístupové jméno, heslo, název SQL databáze v souboru sites >> default >> setings.php.

```
213 $databases = array (  
214     'default' =>  
215         array (  
216             'default' =>  
217                 array (  
218                     'database' => 'název_databáze',  
219                     'username' => 'přidlašovací_jméno',  
220                     'password' => 'heslo_databáze',  
221                     'host' => 'localhost',  
222                     'port' => '',  
223                     'driver' => 'mysql',  
224                     'prefix' => '',  
225                 ),  
226             ),  
227 );
```

obr. 24 Přihlašovací údaje v setings.php

## 5 Závěr

V první části diplomové práce jste se mohli seznámit s problematikou vibrační diagnostiky. Bylo shrnuto obecná teorie vibrační diagnostiky hlavní příčiny závad.

Druhá část se zabývá obecným popisem funkcí měřicího diagnostického systému SKF Microlog/Prism.

Třetí část měřením pomocí diagnostického systému a vyhodnocením měření na papírenském stroji ve společnosti Smurfit Kappa Žimrovice.

Poslední čtvrtá část, jak napovídá název bakalářské práce, se zabývá vývojem a využití zadané databáze. Ta může sloužit jak pro výuku, tak pro inspiraci více či méně zkušených diagnostiků, hledající příklady protokolů zabývajících se konkrétní problematikou. Databáze byla vypracována online a zatím rok pracovat na hostingovém serveru pod adresou <http://datadif.g6.cz/>. Před uplynutím této doby doporučuji v případě potřeby dalšího užívání databáze prodloužit pronájem domény nebo uložit data na jiný např. lokální server.

## Bibliografie

- [1]. **HELEBRANT, F a ZIEGLER, J.** *Technická diagnostika a spolehlivost II. – Vibrodiagnostika*. 178 s. Ostrava : VŠB - TU Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0650-9.
- [2]. **VOJÁČEK, A.** Automatizace.HW.cz. *Principy akcelerometrů*. [Online] 14. leden 2007. [Citace: 2. duben 2013.] Dostupné z <http://automatizace.hw.cz/clanek/2007011401>.
- [3]. **BERRY.** *Ilustrovaná tabulka pro diagnostiku vibrací: dle Berryho*. Ostrava : Oborová práce, 2008. Technical associates of Charlotte. P.C. R-0894-4.
- [4]. **ŠUMNÍK, P.** *Parametrická a vibrační diagnostika*. XXX : Ostrava, 2012. VŠB – TU Ostrava. Diplomová práce.Fakulta strojní. Katedra výrobních strojů a konstruování. Vedoucí práce Jan BLATA.
- [5]. **SUCHANEK, D.** *Přehled současnéhostavu a nových trendů při hodnocení poškození ložiska*. Brno, 2007. Bakalářská práce. VUT - Brno. Fakulta strojního inženýrství. Ústav konstruování. Vedoucí práce Karel MAZAL.
- [6]. *Podkladové materiály dif spol. s.r.o.*
- [7]. **BILOŠ, J.** *Vibrační diagnostika. VIB 07 - Přehled norem z oblasti vibrační diagnostiky*. Bohumín : Diagnostický a technický institut Bohumín, 2007. DTI 07/ VIB 07/.
- [8]. E-PRISM4. *Scribd*. [Online] 2011. [Citace: 20. duben 2013.] <http://www.scribd.com/doc/47175084/E-PRISM4>.
- [9]. SKF.com. [Online] 1999. [Citace: 20. duben 2013.] Dostupné z <http://www.skf.com/files/289964.pdf>.
- [10]. Drupal. *Wikipedia*. [Online] 2001. [Citace: 20. 4. 2013.] Dostupné z <http://en.wikipedia.org/wiki/Drupal>.

## Seznam příloh

- A. Databáze. *Databáze provozních příkladů z vibrodiagnostiky*. [Online]  
květen 2013. Dostupné z <http://datadif.g6.cz/>.